

Массообменные процессы, протекающие с участием твердой фазы, играют большую роль в химической технологии, поскольку они являются необходимой составной частью многих производств и в значительной степени влияют на качество выпускаемой продукции [1,2]. Одним из наиболее распространенных массообменных процессов, осуществляемых в аппаратах с неподвижным слоем твердой фазы, является адсорбция. Адсорбция является универсальным способом, позволяющим практически полностью извлечь примесь из газовой или жидкой среды. В современной химической, газовой, нефтеперерабатывающей промышленности адсорбционный способ широко используют для глубокой очистки и осушки технологических потоков, улучшения качества сырья и продуктов [3-5]. Для исследования процесса адсорбции была разработана схема и создана лабораторная установка (рис.1), предназначенная для проведения процесса адсорбции паров воды из смеси с воздухом слоем адсорбента. Установка состоит из испытательной колонны 1 диаметром 90 мм. Колонна заполнена силикагелем. Газ (влажный воздух) подается воздуходувкой 9 в верхнюю часть колонны, проходит через слой адсорбента и через штуцер 6 в нижней части колонны сбрасывается в атмосферу. Расход газа определяется при помощи диафрагмы 10 и дифманометра 11. Регулирование расхода осуществляется при помощи регулятора напряжения (ЛАТРа) 8, меняющего число оборотов электродвигателя. Относительная влажность и температура воздуха на входе и выходе из колонны измеряются при помощи датчиков 2 и 7 соответственно. Выходные сигналы поступают на вторичные регистрирующие приборы. Все данные, поступающие с приборов, собираются и обрабатываются SCADA-системой и заносятся в память компьютера. Данная схема позволяет пропускать газ по различным контурам: направлять газ в колонну как сверху вниз, так снизу вверх. Кроме того установка снабжена калорифером 12, позволяющим менять температуру воздуха, подаваемого в колонну (от комнатной до $\sim 100^{\circ}\text{C}$), и увлажнителем 13 для увеличения относительной влажности входного воздуха до 95%. Рис. 1 – Схема лабораторной установки

Колонна также снабжена датчиками температур 3-5, позволяющими измерять температуру слоя, т.е. по сути отслеживать движение теплового фронта и исследовать его влияние на процесс адсорбции. Такая гибкая схема позволяет варьировать входные данные и снимать основные характеристики процесса, проводить различные исследования процесса адсорбции, изучать влияние различных параметров на процесс, отслеживать движение фронта адсорбции и определять «время проскока» [3-5]. Технические характеристики установки приведены в таблице 1. SCADA-система позволяет создавать и хранить базу данных проведенных экспериментов и рисовать по этим данным необходимые графики, причем как по набору сохраненных (архивных) данных, так и в режиме реального времени, что позволяет всесторонне и тщательно проводить исследования и своевременно отслеживать процессы, происходящие в колонне

(в слое адсорбента). Таблица 1 - Технические характеристики установки

Габаритные размеры рамы, ВхШхГ, мм 1750х1050х450 Питание 220В/50Гц

Потребляемая мощность, кВт, не более 3.3 Температура окружающего воздуха, °С +5÷40 Относительная влажность окружающего воздуха (при температуре воздуха +25 °С), %, не более 80 Расход воздуха макс., м³/с 0.05 Относительная влажность воздуха на входе в колонну, % 0÷100 Температура воздуха на входе в колонну, °С 0÷100 Рабочий диапазон измерения влажности, % 0÷100 Рабочий диапазон измерения температуры, °С 0÷150 Масса, кг, не более 50

На рисунке 2 приведена выходная кривая – зависимость концентрации водяного пара в воздухе от времени на выходе из колонны. На рисунке виден так называемый «момент проскока», момент времени, когда концентрации на выходе перестает быть постоянной и начинает расти. Рис. 2 – Зависимость относительной влажности воздуха от времени: 1 – на входе в колонну; 2 – на выходе из колонны

На рисунке 3 приведены кривые, соответствующие изменению температуры в различных точках слоя от времени. По рисунку можно отследить движение теплового фронта, а также температурные «пики», соответствующие прохождению теплового фронта через сечение, в котором установлен температурный датчик. Рис. 3 – Зависимость температуры в различных точках слоя адсорбента от времени: 1 – на входе в слой; 2 – на расстоянии 150 мм от входа; 3 – на расстоянии 300 мм от входа

Кроме того, в колонну может быть помещен другой адсорбент. Специально подобранная воздуходувка позволяет работать со слоем силикагеля до 1 м, причем со слоем менее 0.5 м при подаче воздуха снизу – исследовать процесс в режиме псевдоожижения. Также кроме процесса адсорбции установка позволяет исследовать процессы десорбции и сушки. Созданная установка открывает большие возможности для исследования процесса адсорбции как совмещенного процесса тепло- и массообмена. Также данная установка используется в учебном процессе для проведения лабораторных работ со студентами.